図面の2値化のための画質改善

上 田 修 功[†], 名 倉 正 計^{††}
正会員 小 杉 信[†] 森 克 己^{†††}

あらまし 多値画像として入力した線画の局所的な濃度形状に着目し、その濃度形状を強調するという濃度補正を行った後に2値化する画質改善手法を開発した。

下地と線画の濃度コントラストが小さな低品質図面では、従来の2値化手法をそのまま適用すると、2値化に伴って線分・文字・記号等のつぶれとかすれが生じる。本論文で述べる濃度補正を行えば、つぶれとかすれを抑制する2値化閾値選定が可能となり、しかも2値化の閾値の設定範囲が広がり2値化が容易になる。また、本手法は高速度な処理として実現されているためA1判程度の大型図面への適用も可能にしている。

1. ま え が き

計算機への入力を前提としないで作成された既存図面では、筆記具や手書きによる筆圧の違い、用紙の汚れ等により、下地の濃度と線画の濃度コントラストが小さい傾向にある。こうした低品質図面を計算機へ入力しようとする場合、認識の前処理として2値化する場合、従来より提案されてきた濃度ヒストグラムから最適2値化閾値を求める手法^{1)~5)}では、2章で説明するように、2値化閾値の最適化のみで、つぶれとかすれを同時に除去することが困難であった。

そこで岡田ら⁶⁾は、ある範囲の濃度値を持つ画素を対象に局所的な濃度形状から尾根点、谷点を判定し、適応的に閾値を求め、さらに、その閾値より濃度値の低い尾根点と濃度値が高い谷点を各々1(黒)、0(白)とすることにより上記の問題点をかなり改善した。しかし、濃度値の大小関係のみから尾根・谷を判定するため局所的な濃度変化に敏感となり、線中に谷点がある場合や下地に尾根点がある場合、各々強制的に0

(白)、1(黒)にしてしまうので、線のかすれやつぶれが生じるという問題が残った。また、閾値を変化させながらそのつど尾根点・谷点を判定しなければならないので、A1判のような大型図面に適用する場合、ハードウェア化が必須となる。

これに対し本論文では、このような下地と線画との濃度のコントラストが小さな低品質図面を対象に、原画をそのまま2値化するのではなく、有意な山の濃度値を有意な谷の濃度値より大きくすることによって、後段の2値化の際のつぶれとかすれを抑制する濃度補正処理法を提案する。本手法では、濃度値の大小関係のみならず、その濃度差も考慮した補正式を用いているため、線画本来の濃度形状を強調することができ、上記問題点を回避することが可能になる。

本濃度補正を施せば、上記のような低品質図面でも従来の2値化手法で、つぶれとかすれをかなり抑制した2値画像を得ることができ、同時に2値化閾値の選定も容易になる。なお、本論文では多値入力、濃度補正、2値化の一連の処理を画質改善処理と呼ぶ。

2. つぶれとかすれの要因

図1に濃度のコントラストの小さな多値図面の濃度変化の一例(説明の簡単化のために1次元とする)を示す。いま、図1(a)の線画を走査して、同図(b)のような濃度分布が得られたとする。図1中でa, b, c, d, eを濃度変化の山, f, g, h, iを濃度変

[†] NTT ヒューマンインタフェース研究所

^{††} NTT 情報通信処理研究所

^{†††} 福山大学 工学部

“Image Enhancement Method for Binarization of Drawings” by Naonori Ueda (NTT Human Interface Laboratories, Tokyo), Masakazu Nagura (NTT Communications and Information Processing Laboratories, Tokyo), Makoto Kosugi (NTT Human Interface Laboratories, Tokyo), and Katsumi Mori (Faculty of Engineering, Fukuyama University, Fukuyama)

図1 低品質図面の濃度形状の例
Illustration of density profile of a low contrast drawing.
(a) original, (b) density profile.

化の谷と呼び、山が有意な線分を形成し、谷が有意な下地(線分間の空領域)を形成するものとする。また、いま谷 f および山 e の濃度値 V_f , V_e の関係が $V_f > V_e$ であるとする。この時、2 値化の閾値をたとえば図1の TH_1 に設定すると、山 e を形成する線分が消滅し(かすれ)、また、 TH_2 に設定すると山 a, b を形成する線分間がつぶれる。図1の場合、2 値化閾値をどのように設定しようと $V_f > V_e$ であるかぎり、つぶれとかすれを同時に除去することはできない。すなわち $V_f > V_e$ がこの図におけるつぶれとかすれの発生要因であり、これを抑止するには、多値の段階で図1の破線で示すような濃度変化になるようにする必要がある。

3. 濃度補正法

3.1 準備

(定義1) 着目画素およびその両隣の2画素(着目画素に関する点对称の2画素)をそれぞれ P_0 , P_1 , P_2 で表す。

(定義2) 画素 P_0 , P_1 , P_2 の濃度をそれぞれ V_0 , V_1 , V_2 で表す。ただし、 $V_1 \leq V_2$ とする。また、濃度値を正規化し、 $0.0 \leq V_0, V_1, V_2 \leq 1.0$, $0.0 = \text{白}$, $1.0 = \text{黒}$ とする。

(定義3) P_0 を中心とする両隣2画素 P_1 , P_2 の方向を、図2に示す D_1 , D_2 , D_3 , D_4 の4方向とする。したがって、(P_0 , P_1 , P_2) の組は、 P_0 を共有して4

図2 補正時の画素の組合せ(4方向)
Pixel combination in correction (4 directions).

図3 線画と画素の関係
Pixels in line figures.

図4 濃度形状の強調
Density profile enhancement.
(a) peak, (b) valley, (c) slope.

組存在することになる。

3.2 濃度補正処理の基本原則

線図形からなる図面を8~16本/mm、十数階調程度で読取った場合の線画と画素の関係の一例を図3に示す。以下、図3を用いて本濃度補正処理の基本原則を述べる。隣接する画素との濃度値の関係をみると、図3中の画素Aのような線の中心付近の画素では D_1 ,

D_3 , D_4 の方向で図4の(a)に示す関係となり, 図3中の画素Bのような近接する2本の線に挟まれた画素では D_1 , D_3 , D_4 の方向で図4の(b)に示す関係となる傾向が強い. また, 図3中の画素Cのような線のすそ付近の画素では D_1 , D_3 , D_4 の方向で図4の(c)に示す関係となる傾向が強い.

こうした線図形の持つ濃度形状の性質を利用して, 本手法では, ある画素 P_0 の濃度補正値を求めるため, 隣接2画素 P_1 , P_2 との濃度値の関係を調べ, その関係が図4(a)の時は V_0 をより大きくして山を強調し, 図4(b), (c)の時は V_0 をより小さくして谷を強調することにより, 各方向における濃度補正を行う. そして各方向で得た4つの値の相加平均をとり, その値を着目画素の濃度補正値とする.

しかしながら, 図4(a)における V_0 が下地と同程度の濃度値である場合, また, 図4(b)における V_0 が有意な線分と同程度の濃度値である場合は, 各々山・谷として強調する必要がない. そこで本手法では, 濃度ヒストグラムから, 前者については下限の閾値(以下 TH_L とする), 後者については上限の閾値(以下 TH_U とする)を設定し, $V_0 < TH_L$, $V_0 > TH_U$ に対しては濃度補正処理を行わないこととした⁷⁾. これにより, 濃度補正対象画素が大幅に減少するため, 補正処理時間を大きく短縮することができる.

3.3 濃度補正式

濃度補正式を導入するにあたり, 本文では P_0 の濃度補正量 V_0 と $V_2(\geq V_1)$ との差の関数を用いた. すなわち, 図4(a)の場合, V_2 に対してその濃度差をより強調するように V_0 を大きくすることとし, 図4(b), (c)の場合, V_2 より低い V_0 に対してその濃度差をより強調するように V_0 を小さくした. なお P_0 の補正値を V_1 と V_2 との関係から求めるのがより厳密であるが, ここでは, V_2 のみでも方向依存性は4方向の相加平均により緩和され, 山・谷の強調に決定的な影響はないと考えられること, V_2 のみを用いることにより, 処理アルゴリズムの徹底した簡略化が図れることから $V_2(\geq V_1)$ との濃度差のみに着目することとした. 定義3で設定した方向 $D_i(i=1, 2, 3, 4)$ における着目画素 P_0 の補正後の値を R_i とすると, 上記から R_i は次のようになる.

(1) $V_0 \leq V_2$ のとき(図4(b), (c)の場合)

$$R_i = V_2 - f(x) \quad (1)$$

(2) $V_0 > V_2$ のとき(図4(a)の場合)

$$R_i = V_2 + f(x) \quad (2)$$

ここで,

$$x = |V_2 - V_0| \quad (3)$$

図5 濃度補正演算

Illustration of density correction operations.

(a) when $V_0 \leq V_2$, (b) when $V_0 > V_2$.

また, (1), (2), (3)式における V_2 はすべて補正前の値とする. (1), (2)式の $f(x)$ は補正後の P_0 と P_2 の濃度差を表している. 本文の濃度補正は, V_0 と V_2 との差をより強調するものであり, 両者の差が小さいほどその差を強調しなければならない. しかし, 両者の差が小さい時に極端な濃度補正をするのは原濃度を著しく変えてしまうので好ましくない. つまり, 補正前の濃度差 x に対する補正後の濃度差 $f(x)$ の比 $f(x)/x$ が x が小さいほど大きくなるようにすればよい. このような条件を満たす関数として次式を用いた. $f(x)$ を用いた R_i の例を図5に示す.

$$f(x) = \sqrt[n]{c^n - (c-x)^n} \quad (4)$$

ただし,

$$c = \begin{cases} V_2 & (V_0 \leq V_2 \text{ のとき}) \\ 1 - V_2 & (V_0 > V_2 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (5)$$

上式で得た $R_i(i=1, 2, 3, 4)$ に対し, 3.2節で述べたように, R_i の相加平均をとることにより4方向を考慮した補正値 R を次式により求める.

$$R = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) / 4 \quad (6)$$

以上により, 線画本来の濃度形状を強調した濃度補正が実現可能となる. また, (4)式の n の値を変えることにより山・谷の強調の度合を変えることができ, 4章で考察するように, 適切な n の値を用いれば文献⁶⁾に見られるような, 線中(下地中)の谷(山)を強制的に0(1)にすることにより生じる線のかすれ(つぶれ)を回避することが可能となる.

4. 実験結果と考察

本文の画質改善処理法を実際の手書き図面に適用した例を示し、若干の考察を加える。対象となる手書き図面は多値読取りが可能な A 1 判図面入力装置から解像度：8 本/mm×8 本/mm，濃度レベル：16 階調/画素 (4 bits/dot) で計算機に入力した。

(a) 単純 2 値化 ($TH_b=6$)

(b) 単純 2 値化 ($TH_b=7$)

(c) 補正後 2 値化 ($TH_1=5$, $TH_u=9$, $TH_b=6$)

図 6 画質改善効果の例

An example of image enhancement effect.

- (a) Binary image without correction ($TH_b=6$),
- (b) Binary image without correction ($TH_b=7$)
- (c) Binary image with correction ($TH_1=5$, $TH_u=9$, $TH_b=6$).

4.1 画質改善結果

図 6(a)，(b) に、計算機に入力した多値図面を本文の濃度補正処理を適用せずに単純に最適閾値 ($TH_b=6$, 7) で 2 値化した (以下単純 2 値化と呼ぶ) 画像と、同図 (c) に本文の濃度補正処理後に最適閾値 ($TH_b=6$) で 2 値化した画像の一例を示す。画像例のサイズは 512×512 である。単純 2 値化の場合は、かすれをなくすべく 2 値化の閾値を上げる ($TH_b=7$) とつぶれが生じ (図 6(a))，つぶれをなくすべく閾値を下げる ($TH_b=6$) とかすれが生じる (図 6(b))。しかも両者の差は 1 であり、すなわち原図面は、単純 2 値化ではつぶれとかすれを同時に除去できないような品質である。

これに対して、濃度補正処理では前述の (4) 式における n を 2 に設定し、また、閾値は濃度レベル 0～15 のうち、 $TH_u=9$ ，閾 $TH_1=5$ に設定した。この濃度補正処理後に 2 値化した場合、図 6(c) に示すように、つぶれとかすれがかなり除去され、その意味で単純 2 値化に比べて 2 値画像の品質が大幅に向上している。このように、本文の画質改善処理の効果は非常に大きいことがわかる。これは他の種々の図面を用いた実験からも明らかになっている。

図 7 補正曲線
Correction curves.

図 8 補正量の評価 ($TH_1=5$, $TH_u=9$, $TH_b=6$)
Evaluation of correcting amount ($TH_1=5$, $TH_u=9$, $TH_b=6$).

4.2 補正量の評価

3.3節で述べた濃度補正式の(4)式において、補正の強弱を決める n の補正効果を、 $n=1.5, 2, 3, 4$ の4種類について実際の処理例から検討する。図7に各 n に対する $f(x)$ の概形を示し、図8に各 n に対する処理結果を示す。図8の処理結果は、 TH_L 、 TH_U を設定して濃度補正処理した後に2値化したものである。同図を見ると、 $n=2, 3$ については画質にあまり差がないことがわかる。 $n=1.5$ の場合は多少補正が不充分で、 $n=4$ の場合には線分の線幅が必要以上に

(a) $TH_L=6$

(b) $TH_L=7$

(c) $TH_L=8$

図9 2値化閾値の変動に対する安定性($TH_L=5$, $TH_U=9$)

Stability for the change of binary threshold. ($TH_L=5$, $TH_U=9$)

細くなりすぎている。これは、本濃度補正法が濃度形状の尾根線を先鋭化していることに起因する。他の図面についても同様な傾向が見られた。以上を総合すると、 $n=2\sim3$ 程度の補正曲線で補正するのが適当だといえる。

4.3 2値化閾値に対する安定性

本濃度補正処理を施すことにより濃度変化の山・谷が強調されるために、2値化の閾値の設定範囲を広く設定できる利点を生じる。図9の(a)、(b)、(c)は、濃度補正処理後2値化を各々6、7、8に設定して得た2値画像であり、図6の(a)、(b)の単純2値化に比べて、2値化閾値の変動に対しかなり安定した画像に変換されていることがわかる。

4.4 主観評価実験

ディスプレイ上に表示された図面中の文字・記号の読み易さが画質改善処理の有無により、どの程度変わるかについて定量的評価を得るため、5段階評価尺度法による主観評価実験を行った。評価結果を図10に示す。被験者は10名で、データは低・中・高品質の図面を対象とし、単純2値化と濃度補正後2値化したものを合計64サンプル提示した。評価カテゴリーは表1に示す5段階とした。図10から、画質改善により低品質図面に対して約1.7のMOS値の向上が見られる。

図10 主観評価結果
A result of subjective evaluation.

表1 評価カテゴリー
Categories of evaluation.

MOS 値	
5	非常に読み易い
4	読み易い
3	普通
2	読み難い
1	非常に読み難い

4.5 処理速度

本文で提案した濃度補正処理は、3.3節に示した補正式により、濃度値 V_0 , V_2 のみから、濃度補正值 R_i を求めるものである。したがって、濃度補正処理のルックアップテーブル化(LUT化)が可能となる。また、3.2節で述べた TH_1 は、通常背景(下地)と線画との濃度の境界付近に設定され、かなり混み入った図面でも黒画素(線画)の占有率は約10%であることから、 TH_1 だけでも補正対象画素を約90%削減可能であることを確認している。これらにより、補正処理の計算時間を大幅に短縮することができる。

処理時間は、図形認識装置⁸⁾上でA1判図面(6800×4800画素)を処理した場合、わずか30秒程度である。

5. む す び

2値化の前処理としての画質改善の必要性について論じ、その一手法として画素近傍の濃度変化に基づく高速度な画質改善処理法を提案した。また、実際の手書き図面に対する本手法の適用結果から、その有効性を確認することができた。さらに、処理アルゴリズムの徹底した簡略化、LUT化を図り、A1判程度の大型図面を実用時間内で処理できることを確認した。

また、本文の手法はあくまで実用性を重視した手法であり、つぶれとかすれを完全に除去するまでに至っていない。これを可能にするには各画素毎の画像上の意味・内容を解析しながら有意な白画素と黒画素を判別する新たな手法の検討が必要になろう。

日頃、熱心に討論して頂いた、前画像処理研究室の関連各位に深く感謝します。

(昭和63年1月12日受付、昭和63年3月2日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 大津：“判別および最小2乗規準に基づく自動閾値選定法”，信学論誌，J63-D，pp.349-356 (1980)
- 2) 森，大津：“認識問題としての2値化と各種方法の検討”，情処学研資，イメージプロセッシング，15-1 (1977)
- 3) S. Watanabe, et al.: “An automated Apparatus for Cancer Prescreening”, CGIP-3, pp.350-358 (1974)
- 4) J.S. Weszka, et al.: “A Threshold Selection Techniques”, IEEE Trans., C-23, pp.1322-1326 (1974)
- 5) Peleg S.: “Iterative Histogram Modification 2”, IEEE Trans., SMC-8, pp.555-556 (1978)
- 6) 岡田，樋野，坂井，東田，太田：“尾根点・谷点方式による文書画像の前処理付入力装置”，信学技報，EC 82-5 (1982)
- 7) 上田，名倉：“手書き図面の画質改善手法”，信学技報，IE 85-95, pp.31-36 (1985)
- 8) 三ツ矢，末永，奥平，安田：“マルチプロセッサによる汎用画像処理装置”，信学論誌，J68-D，4, pp.869-876 (1985)

うえだ なおのり

上田 修功 昭和59年，大阪大学工学部通信工学科大学院修士課程修了。同年，NTTに入社。以来，図面認識入力システムの研究実用化に従事。現在，同社ヒューマンインタフェース研究所主任。

なぐら まさかず

名倉 正計 昭和46年，東京理科大学工学部電気工学科卒業。同年，NTTに入社。以来，図形・画像の符号化，図形編集処理，図面認識入力システムの研究実用化に従事。現在，同社情報通信処理研究所主任研究員。工学博士。

こすぎ まこと

小杉 信 昭和45年，東京工業大学大学院修士課程修了。同年，NTTに入社。ファクシミリ通信網，図形処理，画像処理，視覚情報処理の研究実用化に従事。現在，同社ヒューマンインタフェース研究所主幹研究員。工学博士。正会員。

もり かつみ

森 克己 昭和46年，京都大学工学部大学院修士課程(電子)修了。同年，NTTに入社。昭和62年，福山大学教授となり，現在に至る。この間，漢字パターン，地図，空中写真，図面の画像処理の研究に従事。工学博士。

Image Enhancement Method for Binarization of Drawings

by Naonori Ueda, Masakazu Nagura, Makoto Kosugi and Katsumi Mori

A new image enhancement method for drawings is proposed. The method enhances local gray scales in a line drawing and then binarizes the image. Usually, binarization of low contrast drawings causes such troubles as unexpected blurring and faintness. The proposed method resolves this problem and in addition makes it easy to select a threshold for achieving a binarized image without blurring and faintness. The proposed algorithm consists of simple operations, so that drawings of as large as A1-size can be processed in moderate times.

J. Inst. TV Engrs, of Japan, Vol. 42, No. 8 (1988)831~836

**Experimental Investigation of the Dynamic Range
of Ultrafast Streak Cameras**

by Yutaka Tsuchiya and Mitsuharu Miwa

We have investigated the dynamic range of a number of different ultrafast streak cameras and attempted to experimentally clarify the origin of intensity-dependent pulse-broadening in the streak tube. The dynamic range of all streak cameras is proportional to the temporal resolution of the whole system, or to the observed pulse duration, which is a function of the duration of incident pulse, the type of streak camera, its sweeping speed, etc.

The electron dispersion generating the pulse-broadening can be decomposed into two perpendicular components in the direction of the tube axis (temporal) and radius (spatial). The intensity-dependent pulse-broadening is mainly caused by an increase of the temporal component (i. e. transit-time-dispersion) and it is closely related to the electron density in the tube. The crossover is not, however, related to pulse-broadening. In addition, hysteresis and non-linearity in an ultrashort time domain can be neglected for photocathodes illuminated by a picosecond laser pulse.

J. Inst. TV Engrs, of Japan, Vol. 42, No. 8 (1988)837~845